



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140169** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01R 17/12** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

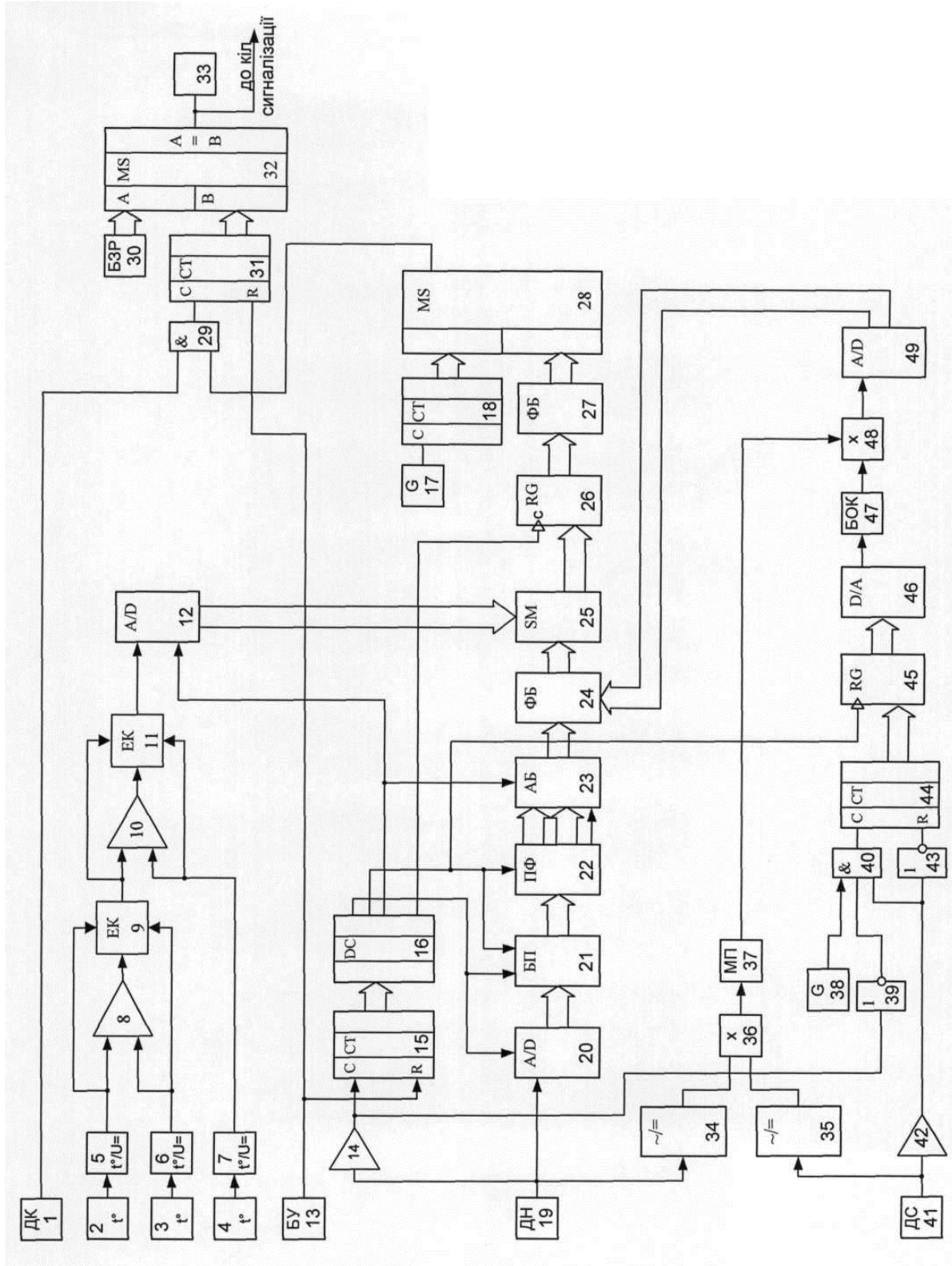
<p>(21) Номер заявки: <b>u 2019 07300</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>01.07.2019</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.02.2020</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.02.2020, Бюл.№ 3</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Грабко Володимир Віталійович (UA), Грабко Валентин Володимирович (UA), Руденко Олег Віталійович (UA), Ковтун Олег Володимирович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ СПРАЦЮВАННЯ СИЛОВИХ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ**

**(57) Реферат:**

Пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів містить два генератори імпульсів, індикатор, комутатор, два компаратори, датчик напруги, датчик комутації, блок установки нуля, віднімаючий лічильник імпульсів, дешифратор, три лічильники імпульсів, два логічних елементи І, блок задання ресурсу, цифровий компаратор, два аналого-цифрових перетворювачі, блок пам'яті, перетворювач Фур'є, арифметичний блок, перший функціональний блок, два регістри, перетворювач змінної напруги в постійну напругу, перетворювач змінного струму в постійну напругу, два помножувачі сигналів, масштабуючий підсилювач, два логічних елементи НІ, датчик струму, цифро-аналоговий перетворювач, блок обчислення косинуса кута зсуву сигналів.

**UA 140169 U**



Корисна модель належить до області електротехніки і може бути використана для вимірювання робочого ресурсу силових статичних конденсаторів.

Відомий пристрій для вимірювання ємності і тангенса кута втрат електричних конденсаторів [А.С. СРСР № 1448291, М. кл. G01R 17/12, бюл. № 48, 1988], що містить генератор, перший вихід якого з'єднаний з початком первинної обмотки трансформатора, а також з другим нерухомим контактом третього перемикаючого елемента комутатора, з першим нерухомим контактом другого перемикаючого елемента комутатора і з початком первинної обмотки інвертора, кінець первинної обмотки якого і початок його вторинної обмотки підключені до загальної шини, а кінець вторинної обмотки з'єднаний з першим нерухомим контактом першого перемикаючого елемента комутатора, другий нерухомий контакт першого перемикаючого елемента якого, а також другий нерухомий контакт другого перемикаючого елемента комутатора і перший нерухомий контакт третього перемикаючого елемента комутатора підключені до виходу фазообертача, вхід якого з'єднаний з рухомим контактом четвертого перемикаючого елемента комутатора, перший нерухомий контакт четвертого перемикаючого елемента якого разом з другим нерухомим контактом п'ятого перемикаючого елемента комутатора підключені до початку вторинної обмотки трансформатора, кінець вторинної обмотки якого з'єднаний з другим нерухомим контактом четвертого перемикаючого елемента комутатора та з першим нерухомим контактом п'ятого перемикаючого елемента комутатора, рухомий контакт п'ятого перемикаючого елемента якого підключений до загальної шини, рухомий контакт другого перемикаючого елемента з'єднаний з другим виводом зразкового резистора, перший вивід якого разом з першим виводом зразкового конденсатора та перша клемма для підключення об'єкта вимірювання з'єднані з першим входом індикатора, другий вхід якого підключений до загальної шини, друга клемма для підключення об'єкта вимірювання з'єднана з рухомим контактом третього перемикаючого елемента комутатора, рухомий контакт першого перемикаючого елемента якого підключений до другого виводу зразкового конденсатора, другий вивід генератора та кінець первинної обмотки трансформатора з'єднані з загальною шиною.

Недоліком даного пристрою є те, що він не дозволяє вимірювати відпрацьований ресурс силових статичних конденсаторів.

За найближчий аналог обрано пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів [Патент України № 34246, М. кл. G01R 17/12, бюл. № 1, 2001], що містить два генератори імпульсів, індикатор, комутатор, два компаратори, датчик напруги (ДН), датчик комутації (ДК), блок установки нуля (БУ), віднімаючий лічильник імпульсів, дешифратор, три лічильники імпульсів, два логічних елемента І, блок задання ресурсу (БЗР), цифровий компаратор, два аналого-цифрових перетворювачі (АЦП), блок пам'яті (БП), перетворювач Фур'є (ПФ), арифметичний блок (АБ), функціональний блок (ФБ) (в подальшому - перший ФБ), два регістри, перетворювач змінної напруги в постійну напругу, перетворювач змінного струму в постійну напругу, два помножувачі сигналів, масштабуючий підсилювач, два логічних елементи НІ, датчик струму (ДС), цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), блок обчислення косинусу кута зсуву сигналів (БОК), причому вихід ДК з'єднаний з першим входом першого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу комутатора, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів, вихід першого логічного елемента І з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу БУ, вихідна цифрова шина БЗР з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, вихід цифрового компаратора з'єднаний з індикатором і колами сигналізації об'єкта вимірювання, вихід ДН через перший компаратор підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП і першим керуючим входом БП, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ підключені до другого виходу дешифратора, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра, вихідна цифрова шина якого з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора, вихід ДН підключений до входу першого АЦП, вихідна цифрова шина якого з'єднана з вхідною цифровою шиною БП, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини ПФ, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід з'єднані відповідно з першою і другою вхідними цифровими шинами і другим керуючим входом АБ, вихідна цифрова шина якого підключена до першої вхідної цифрової шини першого ФБ, вхідна цифрова шина першого регістра з'єднана з

вихідною цифровою шиною першого ФБ, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого АЦП, вихід ДН через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу ДС через перетворювач змінного струму в постійну напругу, а вихід

5 через масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів, вихід якого підключений до входу другого АЦП, а другий вхід з'єднаний з виходом БОК, вхід якого підключений до виходу ЦАП, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І, до

10 другого входу якого через перший логічний елемент НІ підключений вихід першого компаратора, вихід ДС через другий компаратор з'єднаний з третім входом другого логічного елемента І, а також через другий логічний елемент НІ підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента І, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра.

15 Головним недоліком даного пристрою є те, що при визначенні відпрацьованого робочого ресурсу силових статичних конденсаторів їх температура в робочому режимі приймається відповідно до паспортних даних. Але, насправді, температура відхиляється від паспортних даних, що вносить похибку у визначення робочого ресурсу силових статичних конденсаторів внаслідок чого пристрій має низьку точність.

20 В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення пристрою для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів, в якому за рахунок введення нових блоків та зв'язків між ними досягається можливість визначення значення відпрацьованого ресурсу силових статичних конденсаторів з врахуванням температури силових статичних конденсаторів в робочому режимі, що підвищує точність при визначенні їх відпрацьованого робочого ресурсу.

25 Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів, що містить два генератори імпульсів, індикатор, комутатор, два компаратори, ДН, ДК, БУ, віднімаючий лічильник імпульсів, дешифратор, три лічильники імпульсів, два логічних елемента І, БЗР, цифровий компаратор, два АЦП, БП, ПФ, АБ, перший ФБ, два регістри, перетворювач змінної напруги в постійну напругу, перетворювач змінного

30 струму в постійну напругу, два помножувачі сигналів, масштабуючий підсилювач, два логічних елемента НІ, датчик струму, ЦАП, БОК, причому вихід ДК з'єднаний з першим входом першого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу комутатора, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів, вихід першого

35 логічного елемента І з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу БУ, вихідна цифрова шина БЗР з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, а вихід з'єднаний з індикатором і колами сигналізації об'єкта вимірювання, вихід ДН через перший компаратор підключений до

40 лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП і першим керуючим входом БП, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ підключені до другого виходу дешифратора, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ, а четвертий вихід

45 підключений до керуючого входу першого регістра, вихід ДН з'єднаний зі входом першого АЦП, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини БП, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною ПФ, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід підключені відповідно до першої і другої вхідних цифрових шин і

50 другого керуючого входу АБ, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною першого ФБ, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого АЦП, вихід ДН через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до

55 виходу ДС через перетворювач змінного струму в постійну напругу, а вихід через масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів, вихід якого підключений до входу другого АЦП, а другий вхід з'єднаний з виходом БОК, вхід якого підключений до виходу ЦАП, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І, до

60 другого входу якого через перший логічний елемент НІ підключений вихід першого компаратора, вихід ДС через другий компаратор з'єднаний з третім входом другого логічного

елемента І, а також через другий логічний елемент НІ підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента І, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра, введено три датчики температури, три перетворювачі температури в постійну напругу, два компаратори, два електронні ключі, третій АЦП, цифровий суматор та другий ФБ, причому виходи першого та другого датчиків температури з'єднані відповідно зі входами першого та другого перетворювачів температури в постійну напругу, виходи яких відповідно підключені до першого та другого входів третього компаратора, вихід якого з'єднаний з третім входом першого електронного ключа, перший та другий входи якого підключені відповідно до виходів першого та другого перетворювачів температури в постійну напругу, а вихід з'єднаний з першим входом другого електронного ключа та з першим входом четвертого компаратора, другий вхід якого разом з другим входом другого електронного ключа підключені до виходу третього перетворювача температури в постійну напругу, вхід якого з'єднаний з виходом третього датчика температури, вихід четвертого компаратора підключений до третього входу другого електронного ключа, вихід якого з'єднаний з першим входом третього АЦП, другий вхід якого підключений до третього виходу дешифратора, а вихідна цифрова шина з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого ФБ, а вихідна цифрова шина з'єднана зі вхідною цифровою шиною першого регістра, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини другого ФБ, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною комутатора.

Пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів пояснюється кресленням, на якому зображена його структурна схема.

На схемі: 1 - датчик комутації; 2, 3, 4 - перший, другий та третій датчики температури відповідно; 5, 6, 7 - перший, другий та третій перетворювачі температури в постійну напругу відповідно; 8 - третій компаратор; 9 - перший електронний ключ; 10 - четвертий компаратор; 11 - другий електронний ключ; 12 - третій аналого-цифровий перетворювач; 13 - блок установки нуля; 14 - перший компаратор; 15 - віднімаючий лічильник імпульсів; 16 - дешифратор; 17 - перший генератор імпульсів; 18 - перший лічильник імпульсів; 19 - датчик напруги; 20 - перший аналого-цифровий перетворювач; 21 - блок пам'яті; 22 - перетворювач Фур'є; 23 - арифметичний блок; 24 - перший функціональний блок; 25 - цифровий суматор; 26 - перший регістр; 27 - другий функціональний блок; 28 - комутатор; 29 - перший логічний елемент І; 30 - блок задання ресурсу; 31 - другий лічильник імпульсів; 32 - цифровий компаратор; 33 - індикатор; 34 - перетворювач змінної напруги в постійну; 35 - перетворювач змінного струму в постійну напругу; 36 - перший помножувач сигналів; 37 - масштабуючий підсилювач; 38 - другий генератор імпульсів; 39 - перший логічний елемент НІ; 40 - другий логічний елемент І; 41 - датчик струму; 42 - другий компаратор; 43 - другий логічний елемент НІ; 44 - третій лічильник імпульсів; 45 - другий регістр; 46 - цифро-аналоговий перетворювач; 47 - блок обчислення косинусу кута зсуву сигналів; 48 - другий помножувач сигналів; 49 - другий аналого-цифровий перетворювач, причому вихід ДК 1 з'єднаний з першим входом першого логічного елемента І 29, другий вхід якого підключений до виходу комутатора 28, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів 18, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів 17, вихід першого логічного елемента І 29 з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів 31, установочний вхід якого підключений до виходу БУ 13, вихідна цифрова шина БЗР 30 з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора 32, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів 31, а вихід з'єднаний з індикатором 33 і колами сигналізації об'єкта вимірювання, вихід ДН 19 через перший компаратор 14 підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів 15, установочний вхід якого з'єднаний з виходом БУ 13, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини дешифратора 16, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого АЦП 20 і першим керуючим входом БП 21, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом ПФ 22 підключені до другого виходу дешифратора 16, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом АБ 23, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра 26, вихід ДН 19 з'єднаний зі входом першого АЦП 20, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини БП 21, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною ПФ 22, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід підключені відповідно до першої і другої вхідних цифрових шин і другого керуючого входу АБ 23, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною першого ФБ 24, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого АЦП 49, вихід ДН 19 через перетворювач змінної напруги в постійну напругу 34 з'єднаний з першим входом першого

помножувача сигналів 36, другий вхід якого підключений до виходу ДС 41 через перетворювач змінного струму в постійну напругу 35, а вихід через масштабуючий підсилювач 37 з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів 48, вихід якого підключений до входу другого АЦП 49, а другий вхід з'єднаний з виходом БОК 47, вхід якого підключений до виходу ЦАП 46, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра 45, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора 16, вихід другого генератора імпульсів 38 з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І 40, до другого входу якого через перший логічний елемент НІ 39 підключений вихід першого компаратора 14, вихід ДС 41 через другий компаратор 42 з'єднаний з третім входом другого логічного елемента І 40, а також через другий логічний елемент Ш 43 підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів 44, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента І 40, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра 45, виходи першого 2 та другого 3 датчиків температури з'єднані відповідно зі входами першого 5 та другого 6 перетворювачів температури в постійну напругу, виходи яких відповідно підключені до першого та другого входів третього компаратора 8, вихід якого з'єднаний з третім входом першого електронного ключа 9, перший та другий входи якого підключені відповідно до виходів першого 5 та другого 6 перетворювачів температури в постійну напругу, а вихід з'єднаний з першим входом другого електронного ключа 11 та з першим входом четвертого компаратора 10, другий вхід якого разом з другим входом другого електронного ключа 11 підключені до виходу третього перетворювача температури в постійну напругу 7, вхід якого з'єднаний з виходом третього датчика температури 4, вихід четвертого компаратора 10 підключений до третього входу другого електронного ключа 11, вихід якого з'єднаний з першим входом третього АЦП 12, другий вхід якого підключений до третього виходу дешифратора 16, а вихідна цифрова шина з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового суматора 25, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого ФБ 24, а вихідна цифрова шина з'єднана зі вхідною цифровою шиною першого регістра 26, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини другого ФБ 27, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною комутатора 28.

Запропонований пристрій працює так. При подачі на схему напруги живлення БУ 13 формує короткий імпульс, який обнуляє віднімаючий лічильник імпульсів 15 та другий лічильник імпульсів 31. Для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів датчики пристрою розподілені по об'єкта вимірювання наступним чином: датчик напруги 19 встановлений в колі ввімкнення конденсаторів, датчик струму 41 ввімкнений в колі секції конденсаторів, датчик комутації 1 встановлений на вимикачі, через який підключена до електричної мережі секція конденсаторів, перший 2, другий 3 та третій 4 датчики температури встановлені на конденсаторах секції конденсаторів для визначення температури конденсаторів в робочому режимі. Зауважимо, що датчиків температури в загальному випадку може використовуватись більша кількість.

У відповідності з "восьмиградусним правилом" теплового старіння електротехнічної ізоляції, яке прийнято як закон старіння ізоляції конденсатора, тобто накопичення спрацювання конденсатора

$$\tau_{\theta} = \tau_0 \cdot e^{-0,087 \cdot \Delta\theta}, \quad (1)$$

де  $\tau_{\theta}$  - строк служби силового статичного конденсатора в режимі роботи, який викликаний перегрівом ізоляції  $\Delta\theta$ ;  $\tau_0 = \tau_0 \cdot e^{-0,087 \cdot \Delta\theta}$  - строк служби силового статичного конденсатора при нагріві ізоляції, який відповідає номінальному режиму роботи конденсатора.

Перегрів  $\Delta\theta$  визначається за наступним виразом

$$\Delta\theta = \theta - \theta_n, \quad (2)$$

де  $\theta_n$  - температура нагріву ізоляції при номінальному режимі роботи конденсатора (як правило,  $\theta_n$  задається відповідно до паспортних даних конденсаторів, але на практиці температура  $\theta_n$  відрізняється від типових значень. Пропонується розташувати декілька датчиків температури на об'єкті дослідження (в даному випадку - три) та визначати найбільшу температуру за формулою  $\theta_n = \max(\theta_{n1}, \theta_{n2}, \dots, \theta_{ni})$  де  $i$  - загальна кількість датчиків температури, що встановлені в місцях прогнозованого її підвищення,  $\theta_{ni}$  - температура, що

вимірюється і-тим датчиком температури),  $\theta$  - фактична температура нагріву ізоляції, яка визначається за наступним виразом

$$\theta = \frac{1}{\alpha_m \cdot S_{охл}} \cdot P, \quad (3)$$

5 де  $\alpha_m$  - коефіцієнт тепловіддачі з поверхні конденсатора;  $S_{охл}$  - площа поверхні охолодження конденсатора;  $P$  - потужність втрат конденсатора, яка визначається за виразом

$$P = 2\pi f \cdot U^2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (4)$$

10 де  $f$  - частота напруги в мережі;  $U$  - напруга живлення конденсатора;  $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс кута втрат конденсатора;  $C$  - ємність конденсатора.

Як відомо найважчий режим роботи силових статичних конденсаторів - робота під несинусоїдальною напругою мережі живлення. Вплив несинусоїдальності напруги мережі живлення враховується через коефіцієнт  $\eta$  збільшення втрат в конденсаторі, який можна визначити як

15

$$\eta = \frac{\sum_{v=1}^n v U_{v^*}^2}{\sum_{v=1}^n U_{v^*}^2}, \quad (5)$$

де  $v$  - порядок гармоніки напруги мережі;  $U_{v^*}$  - напруга  $v$ -ої гармоніки напруги мережі;  $n$  - кількість гармонік спектра напруги, що враховуються. При оцінці коефіцієнта несинусоїдальності достатньо враховувати гармоніки, значення яких  $\geq 30\%$  напруги найбільшої гармоніки.

20

Ємність конденсатора  $C$  можна визначити за формулою

$$C = \frac{1}{\omega} \frac{I}{U}, \quad (6)$$

де  $\omega$  - кутова частота напруги в мережі;  $I$ ,  $U$  - виміряні значення напруги і струму у відповідних колах конденсатора.

25

Тангенс кута втрат конденсатора визначається так. Потужність втрат конденсатора визначається як

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos(90 - \delta - \psi), \quad (7)$$

30 де  $\psi$  - зміщення фаз за рахунок факторів впливу кутових похибок вимірювальних трансформаторів та інше;  $\delta$  - кут втрат силового статичного конденсатора.

З врахуванням того, що кути  $\psi$  і  $\delta$  невеликі, з (7) слідує що

$$\operatorname{tg}(\delta + \psi) \approx \sin(\delta + \psi) = \frac{P}{U \cdot I}.$$

Для виключення систематичної похибки до результатів виміру вводиться поправка, яка дорівнює  $\operatorname{tg} \psi$ , тому

35

$$\operatorname{tg} \delta \approx \frac{P}{U \cdot I} - \operatorname{tg} \psi. \quad (8)$$

Таким чином в будь-який момент часу можна визначити нагрів ізоляції силового статичного конденсатора за формулою

$$\theta = \frac{1}{\alpha_m \cdot S_{охл}} 2\pi f \cdot U^2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \eta, \quad (9)$$

або підставивши вирази (5), (6), (8) в (9) та врахувавши коефіцієнти трансформації вимірювальних трансформаторів струму  $k_c$  і  $k_H$  напруги маємо

$$\theta = \frac{k_H \cdot k_c}{\alpha_m \cdot S_{охл}} U \cdot I \cdot (\cos \varphi - tg \psi) \cdot \eta \cdot \quad (10)$$

5

Для кожного моменту часу  $j$  можна визначити строк служби  $\tau_j$  силового статичного конденсатора згідно з (1), тобто

$$\tau_{\theta j} = \tau_0 \cdot e^{-0,087 \cdot \Delta \theta j} \cdot \quad (11)$$

10

Залишковий робочий ресурс  $H_{\tau}^{зал}$  силового косинусного конденсатора визначимо за виразом

$$H_{\tau}^{зал} = H_{\tau}^{ном} - H_{\Delta \tau} - H_{\Delta \tau \theta}, \quad (12)$$

15

де  $H_{\tau}^{ном}$  - номінальний робочий ресурс конденсатора;  $H_{\Delta \tau}$  - оціночне значення спрацьованого ресурсу конденсатора з моменту вводу в експлуатацію до моменту встановлення пристрою. Якщо спостереження за спрацюванням ресурсу проводиться для нових конденсаторів, то  $H_{\Delta \tau} = 0$ ;  $H_{\Delta \tau \theta}$  - відпрацьований ресурс від перегріву при роботі в несинусоїдальному режимі. Значення  $H_{\Delta \tau \theta}$  можна визначити як

$$H_{\Delta \tau \theta} = \sum_{j=1}^N \frac{H_{\tau}^{ном}}{\tau_{\theta j}} \cdot t_j, \quad (13)$$

20

де  $t_j$  - час, протягом якого на конденсатор впливає температура перегріву  $\Delta \theta_j$ ;  $N$  - кількість інтервалів зміни температури  $\theta$ .

25

Таким чином, слідкуючи за значенням  $H_{\Delta \tau \theta}$  і порівнюючи зі значенням робочого ресурсу  $H_{\tau}^{ном} - H_{\Delta \tau}$  на початку роботи пристрою, можна визначити момент зняття з експлуатації конденсатора і запобігти аварійної ситуації. Спрацювання ресурсу конденсатора визначається за наступним виразом

$$H_{\Delta \tau \theta} = \sum_{j=1}^N \frac{H_{\tau}^{ном}}{\tau_0 \cdot e^{-0,087 \cdot \left( \frac{k_c \cdot k_c}{\alpha S_{\gamma}} U_j \cdot I_j [\cos \varphi_j - tg \psi] \eta_j - \Theta_{\theta j} \right)}} \cdot t_j \cdot \quad (14)$$

30

При вимірюванні спрацювання силових статичних конденсаторів робота пристрою розподіляється по тактах з виходів дешифратора 16, які є синхронізованими з напругою в мережі, що подається через ДН 19 на вхід першого компаратора 14, на виході якого з'являються імпульси, що надходять на лічильний вхід віднімаючого лічильника 15, цифровий код з виходу якого надходить на дешифратор 16.

35

При появі на першому виході дешифратора 16 логічної одиниці цифрові коди, які відповідають миттєвим значенням напруги впродовж одного періоду зміни напруги з виходу ДН 19 через АЦП 20 записуються в БП 21. При появі сигналу логічного нуля на першому виході дешифратора 16 процес запису кодів в БП 21 припиняється. При цьому на другому виході дешифратора 16 з'являється сигнал логічної одиниці, по якому всі коди, що записані в БП 21, передаються в ПФ 22. Одночасно цим же сигналом запускається ПФ 22, який обчислює склад спектра гармонік напруги  $v$  і діюче значення  $U_v$  кожної з них. При появі сигналу на третьому виході дешифратора 16 активізується робота АБ 23. При цьому з ПФ 22 в АБ 23 по керуючим сигналам, що надходять з ПФ 22 на другий керуючий вхід АБ 23, передаються цифрові коди, які

40



відповідають номерам гармонік напруги  $v$  та їх діючим значенням  $U_v$ . В АБ 23 проводиться обчислення сигналу у відповідності з виразом (5). Вихідний сигнал з АБ 23 у вигляді цифрового коду, пропорційного  $\eta$ , надходить у перший ФБ 24.

Одночасно з виходу ДН 19 змінна напруга подається на перетворювач змінної напруги в постійну напругу 34, з виходу якого сигнал надходить на перший вхід першого помножувача сигналів 36, на другий вхід якого через перетворювач струму в постійну напругу 35 надходить сигнал, який пропорційний змінному струму, що протікає в цей час в об'єкті вимірювання і контролюється ДС 41. З виходу першого помножувача сигналів 36 сигнал через масштабуючий підсилювач 37, в якому добуток сигналів  $U \cdot I$  множиться на коефіцієнт  $\frac{k_n \cdot k_c}{\alpha_m \cdot S_{ох}}$ , подається на перший вхід другого помножувача сигналів 48.

В цей же час проводиться вимірювання кута зсуву фаз сигналів струму і напруги. Оскільки сигнал струму з виходу ДС 41 випереджає сигнал на виході ДН 19, то імпульси на виході другого компаратора 42 з'являються раніше, ніж на виході першого компаратора 14. При появі прямокутного імпульсу на виході другого компаратора 42 відкривається другий елемент І 40, який закривається при появі імпульсу з виходу першого компаратора 14, що проходить через перший елемент НІ 39. За час, коли другий елемент І 40 знаходиться у відкритому стані, з виходу другого генератора імпульсів 38 надходять імпульси на лічильний вхід третього лічильника імпульсів 44. В момент появи сигналу на керуючому вході, який є прямим динамічним, другого регістра 45 цифровий код з третього лічильника імпульсів 44 передається в другий регістр 45. Таким чином в другому регістрі 45 запам'ятовується цифровий код, що відповідає куту зсуву фаз  $\varphi$  між напругою і струмом в колі об'єкта вимірювання. В момент, коли на виході другого компаратора 42 з'являється сигнал логічного нуля, третій лічильник імпульсів 44 обнуляється.

Визначення найвищої температури силових статичних конденсаторів здійснюється так. Спочатку за допомогою третього компаратора 8 здійснюється порівняння сигналів на виходах першого 2 та другого 3 датчиків температури. Ці сигнали на третій компаратор 8 надходять з виходів першого 2 та другого 3 датчиків температури через перший 5 та другий 6 перетворювачі температури в постійну напругу відповідно. В залежності від того, на виході якого датчика температура вища, відкривається перший електронний ключ 9 та сигнал з відповідного датчика надходить для порівняння на четвертий компаратор 10, в якому результуючий сигнал порівнюється з температурою на виході третього датчика температури 4, вихідний сигнал якого через третій перетворювач температури в постійну напругу 7 надходить на другий вхід четвертого компаратора 10. В залежності від того, який з двох сигналів має більше значення, через другий електронний ключ 11 сигнал надходить на вхід третього АЦП 12.

З виходу другого регістра 45 цифровий код через ЦАП 46 передається в БОК 47, де проводиться обчислення косинусу кута  $\varphi$  та враховується кутлова похибка  $tg\psi$ . Сигнал, пропорційний  $(\cos\varphi - tg\psi)$ , з виходу БОК 47 надходить на другий вхід другого помножувача сигналів 48, де він множиться на сигнал з виходу масштабуючого підсилювача 37 і через другий АЦП 49 у вигляді цифрового коду, що відповідає значенню  $\frac{k_n \cdot k_c}{\alpha_m \cdot S_{ох}} U \cdot I \cdot (\cos\varphi - tg\psi)$ , подається

на другу вхідну цифрову шину першого ФБ 24. З виходу третього АЦП 12 по сигналу з третього виходу дешифратора 16 цифровий код надходить в цифровий суматор 25, в якому він складається з кодом з виходу першого ФБ 24. На виході останнього формується цифровий код, який відповідає спрацюванню силового статичного конденсатора при поточному режимі роботи

$j$ , згідно з виразом 
$$\frac{H_{\tau}^{''''}}{\tau_0 \cdot e^{-0,087 \cdot \left( \frac{k_c \cdot k_n}{\alpha S_{\gamma}} U_j \cdot I_j [\cos\varphi_j - tg\psi] \eta_j - \Theta_{\eta} \right)}}$$
, та записується в перший регістр 26 по

передньому фронту сигналу з четвертого виходу дешифратора 16. Цифровий код з виходу першого регістра 26 подається через другий ФБ 27 в комутатор 28 з перетворенням до виду, прийняттого для керування каналами формування послідовностей сигналів різних частот на виході комутатора 28.

Перший генератор імпульсів 17 і перший лічильник імпульсів 18 являють собою сукупність генераторів імпульсів з різними частотами вихідних сигналів. Комутатор 28 у відповідності з цифровим кодом, що надходить з другого ФБ 27, передає вихідний сигнал з одного з виходів лічильника імпульсів 18 на лічильний вхід другого лічильника імпульсів 31, при умові, що на першому вході першого логічного елемента І 29 присутній сигнал логічної одиниці з ДК 1, який

існує при умові, що об'єкт вимірювання підключений до мережі живлення. В другому лічильнику імпульсів 31 накопичується цифровий код, який відповідає спрацюванню силового статичного конденсатора, згідно з виразом (14).

5 Якщо спектр гармонік в мережі або сигнал з виходу другого АЦП 49 змінюється, то на виході першого ФБ 24 з'являється новий код, який через другий ФБ 27 забезпечує підключення іншого виходу першого лічильника імпульсів 18 до входу другого (ресурсного) лічильника імпульсів 31. При цьому швидкість подачі імпульсів в другий (ресурсний) лічильник імпульсів 31 або збільшується або зменшується відповідно з вище згаданими параметрами.

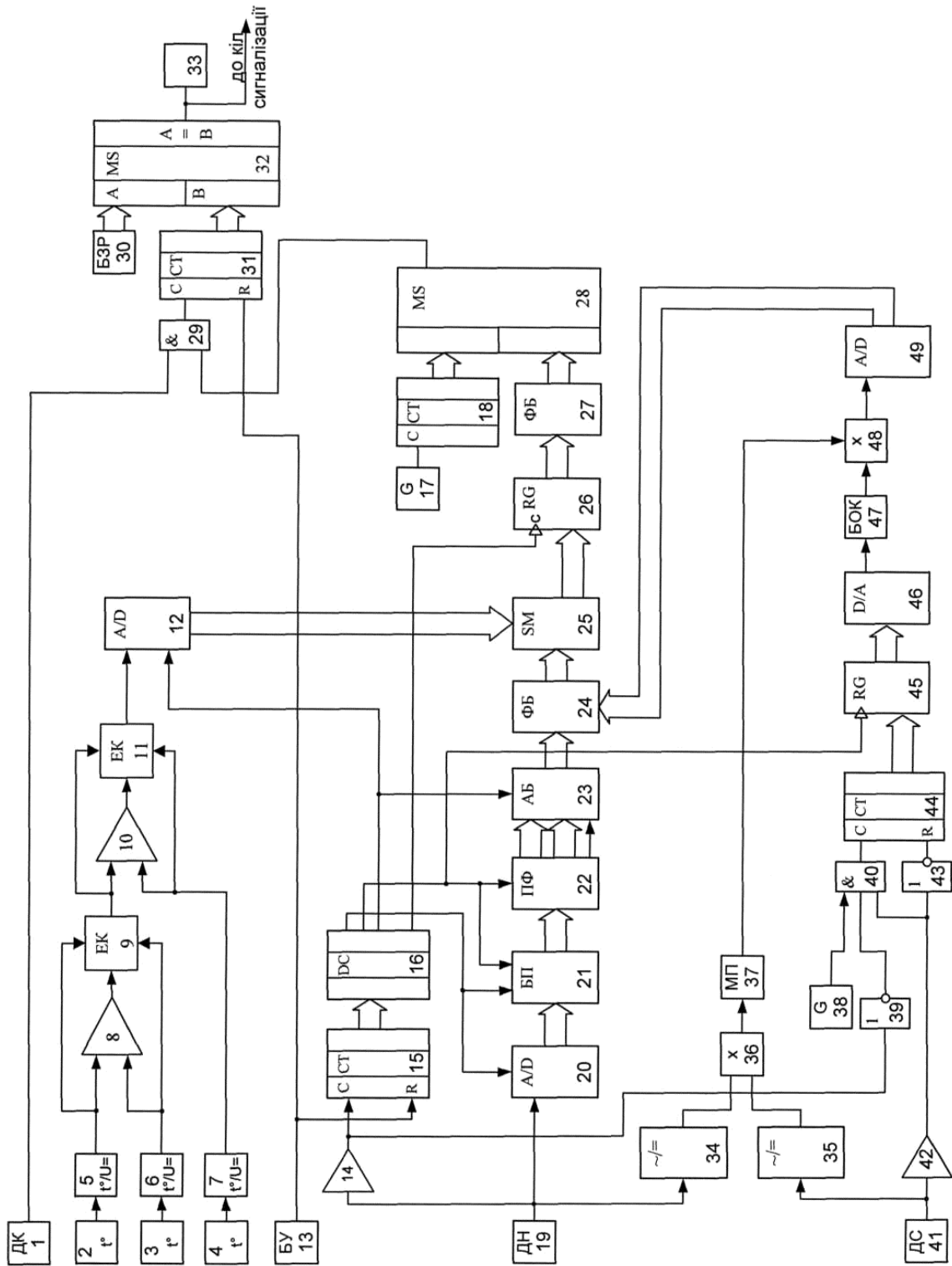
10 В БЗР 30 записаний код, який відповідає початковому робочому ресурсу  $(H_{\tau}^{ном} - H_{\Delta\tau})$  конденсатора. У випадку, коли на виході другого лічильника імпульсів 31 з'являється код, що дорівнює коду на виході БЗР 30, на виході цифрового компаратора 32 з'являється сигнал логічної одиниці, який вмикає індикатор 33, що свідчить про спрацювання ресурсу конденсаторів, і подає сигнал в кола сигналізації оперативному персоналу.

15 Для коректної роботи пристрою частота чередування імпульсів другого генератора імпульсів 38 повинна бути набагато більша ніж частота сигналу електричної мережі 50 Гц.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

20 Пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів, що містить два генератори імпульсів, індикатор, комутатор, два компаратори, датчик напруги, датчик комутації, блок установки нуля, віднімаючий лічильник імпульсів, дешифратор, три лічильники імпульсів, два логічних елементи І, блок задання ресурсу, цифровий компаратор, два аналого-цифрових перетворювачі, блок пам'яті, перетворювач Фур'є, арифметичний блок, перший функціональний блок, два регістри, перетворювач змінної напруги в постійну напругу, перетворювач змінного струму в постійну напругу, два помножувачі сигналів, масштабуючий підсилювач, два логічних елементи НІ, датчик струму, цифро-аналоговий перетворювач, блок обчислення косинуса кута зсуву сигналів, причому вихід датчика комутації з'єднаний з першим входом першого логічного елемента І, другий вхід якого підключений до виходу комутатора, перша вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною першого лічильника імпульсів, лічильний вхід якого підключений до виходу першого генератора імпульсів, вихід першого логічного елемента І з'єднаний з лічильним входом другого лічильника імпульсів, установочний вхід якого підключений до виходу блока установки нуля, вихідна цифрова шина блока задання ресурсу з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового компаратора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого лічильника імпульсів, а вихід з'єднаний з індикатором і колами сигналізації об'єкта вимірювання, вихід датчика напруги через перший компаратор підключений до лічильного входу віднімаючого лічильника імпульсів, установочний вхід якого з'єднаний з виходом блока установки нуля, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини дешифратора, перший вихід якого з'єднаний з керуючим входом першого аналого-цифрового перетворювача і першим керуючим входом блока пам'яті, другий керуючий вхід якого разом з керуючим входом перетворювача Фур'є підключені до другого виходу дешифратора, третій вихід якого з'єднаний з першим керуючим входом арифметичного блока, а четвертий вихід підключений до керуючого входу першого регістра, вихід датчика напруги з'єднаний зі входом першого аналого-цифрового перетворювача, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини блок пам'яті, вихідна цифрова шина якого з'єднана зі вхідною цифровою шиною перетворювача Фур'є, перша і друга вихідні цифрові шини якого, а також його керуючий вихід, підключені відповідно до першої і другої вхідних цифрових шин і другого керуючого входу арифметичного блока, вихідна цифрова шина якого з'єднана з першою вхідною цифровою шиною першого функціонального блока, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини другого аналого-цифрового перетворювача, вихід датчика напруги через перетворювач змінної напруги в постійну напругу з'єднаний з першим входом першого помножувача сигналів, другий вхід якого підключений до виходу датчика струму через перетворювач змінного струму в постійну напругу, а вихід через масштабуючий підсилювач з'єднаний з першим входом другого помножувача сигналів, вихід якого підключений до входу другого аналого-цифрового перетворювача, а другий вхід з'єднаний з виходом блока обчислення косинуса кута зсуву сигналів, вхід якого підключений до виходу цифро-аналогового перетворювача, вхідна цифрова шина якого з'єднана з вихідною цифровою шиною другого регістра, керуючий вхід якого підключений до другого виходу дешифратора, вихід другого генератора імпульсів з'єднаний з першим входом другого логічного елемента І, до другого входу якого через перший логічний елемент НІ підключений вихід першого компаратора, вихід датчика струму через другий компаратор з'єднаний з третім входом другого

логічного елемента I, а також через другий логічний елемент HI підключений до установочного входу третього лічильника імпульсів, лічильний вхід якого з'єднаний з виходом другого логічного елемента I, а вихідна цифрова шина підключена до вхідної цифрової шини другого регістра, який **відрізняється** тим, що в нього введено три датчики температури, три перетворювачі температури в постійну напругу, два компаратори, два електронні ключі, третій аналого-цифровий перетворювач, цифровий суматор та другий функціональний блок, причому виходи першого та другого датчиків температури з'єднані відповідно зі входами першого та другого перетворювачів температури в постійну напругу, виходи яких відповідно підключені до першого та другого входів третього компаратора, вихід якого з'єднаний з третім входом першого електронного ключа, перший та другий входи якого підключені відповідно до виходів першого та другого перетворювачів температури в постійну напругу, а вихід з'єднаний з першим входом другого електронного ключа та з першим входом четвертого компаратора, другий вхід якого разом з другим входом другого електронного ключа підключені до виходу третього перетворювача температури в постійну напругу, вхід якого з'єднаний з виходом третього датчика температури, вихід четвертого компаратора підключений до третього входу другого електронного ключа, вихід якого з'єднаний з першим входом третього аналого-цифрового перетворювача, другий вхід якого підключений до третього виходу дешифратора, а вихідна цифрова шина з'єднана з першою вхідною цифровою шиною цифрового суматора, друга вхідна цифрова шина якого підключена до вихідної цифрової шини першого функціонального блока, а вихідна цифрова шина з'єднана зі вхідною цифровою шиною першого регістра, вихідна цифрова шина якого підключена до вхідної цифрової шини другого функціонального блока, вихідна цифрова шина якого з'єднана з другою вхідною цифровою шиною комутатора.



Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601